Röntgeninstitut der Universität Bern
Direktor: Prof. Dr. Adolf Liechti
Arbeit unter der Leitung von Dr. W. Minder

Der Einfluss von Röntgen- und Ultraviolettstrahlen auf das Wachstum des Keimlings von Triticum vulgare

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinae dentium
der Universität Bern

vorgelegt von

Hektor Lenherr
aus Gams [St. G.]

Mai 1941

Buchdruckerei Jos. Zehnders Erben, St. Gallen O
1942

Röntgeninstitut der Universität Bern
Direktor: Prof. Dr. Adolf Liechti
Arbeit unter der Leitung von Dr. W. Minder

Der Einfluss von Röntgen- und Ultraviolettstrahlen auf das Wachstum des Keimlings von Triticum vulgare

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinae dentium
der Universität Bern

vorgelegt von

Hektor Lenherr
aus Gams (St. G.)

Mai 1941

Buchdruckerei Jos. Zehnders Erben, St. Gallen 0

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. A. Liechti von der medizinischen Fakultät zum Druck als Dissertation genehmigt.

Bern, den 4. März 1942.

Der Dekan der medizinischen Fakultät:
sig. Muralt.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meiner lieben Mutter
gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547623_0040

Der Einfluss von Röntgen- und Ultraviolettstrahlen auf das Wachstum des Keimlings von Triticum vulgare

I. Einleitung

Die Röntgenstrahlen haben in der heutigen Medizin zweifellos ihren unentbehrlichen Platz für Diagnostik und Therapie gefunden. Dank zahlreicher Untersuchungen ist ihre Verwendungsmöglichkeit eine immer grössere geworden. Die jetzigen Kenntnisse über deren Wirkung auf verschiedene Objekte erscheinen aber in keiner Weise etwa als erschöpft. Daraus verständlich wird an der verdienstvollen Entdeckung Röntgens unaufhörlich weiter gearbeitet.

Experimente sollten uns nicht nur ihre Wirkung auf tierische Zellen demonstrieren. Sie wurden auch auf das Gebiet der Pflanzenzellen ausgedehnt. Gut bewährt haben sich für diese biologischen Versuche Pflanzen aus der Familie der Cruciferen, Papaveraceen, Papilionaceen und Gramineen, d. h. Pflanzen, die sich im Keimstadium durch ein starkes Wachstum und eine solche Empfindlichkeit auszeichnen, dass schon bei verhältnismässig kleinen Dosen eindeutige Reaktionen beobachtet werden können. Am hiesigen Institut gelangten vor allem mit gutem Erfolg Vicia faba equina, Secale cereale und Triticum vulgare zur Untersuchung.

Eine der ersten strahlenbiologischen Arbeiten mit Hilfe von Pflanzenkeimlingen stammt von H. Iven 1925. In seinen Versuchen

mit Röntgenstrahlen auf keimende Bohnen zeigte er, dass sämtliche Strahlungseffekte erst nach einer bestimmten Latenzzeit vom Keimling geäussert wurden. Eine völlige Ausschaltung des Keimprozesses trat nicht ein. Kleinere Dosen zeigten eine das Wachstum fördernde, grössere Dosen proportional eine das Wachstum hemmende Wirkung. In seinen sämtlichen Versuchen erwiesen sich die Röntgenstrahlen als nur temporär wirkend. Ungefilterte weiche Strahlen erwirkten einen grösseren Effekt als gefilterte. Allgemein zeigte sich das Kulturmilieu der Versuchspflanze als ausschlaggebend.

Aehnliche Resultate ergaben die Untersuchungen aus dem Jahre 1929 von Glocker, Hayer und Jüngling.

Neuere Arbeiten über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf Pflanzenkeimlinge im besonderen liegen vor von A. Salzmann, K. Dölken und V. de Simoni. Des Fernern wurde von Liechti und Müller an Bakterien die Summation durchgeführt.

A. Salzmann verwendet als Versuchsobjekt die Pferdebohne (Vicia faba equina) mit besonderer Berücksichtigung des Wurzelwachstums. Nach Bestrahlungen mit 12,5 r, 25 r, 50 r und 100 r ergab sich eindeutig, dass 12,5 r und 25 r auf das Wachstum der Hauptwurzel einen fördernden Einfluss hatten. Die Beschleunigung dauerte vom ersten bis zum siebenten Tag, worauf das Wachstum dann wieder normalen Charakter annahm. Bei Bestrahlung mit 50 r zeigte sich bis zum fünften Tag normales, nachher verlangsamtes Wachstum. 100 r und mehr wiesen nur noch schädigende Wirkungen auf. Die Seitenwurzeln erfuhren bei 25 r und darüber eine Schädigung.

Zu den Versuchen von K. Dölken diente ebenfalls Vicia faba equina. Die Bestrahlung wurde mit gleichen r-Dosen, aber mit zwei verschiedenen Intensitäten, nämlich 2 r/Min. und 45 r/Min. durchgeführt. Er untersuchte die Intensitätsabhängigkeit der Wirkung (Zeitfaktor).

Bei beiden Intensitäten erzielte die Dosis von 5 r einen Wachstumsanstieg, die Dosis von 10 r und darüber eine eindeutige Wachstumshemmung.

Mit 10, 20 und 50 r war bei beiden Intensitäten die Wirkung ähnlich, d. h. Zeitfaktor annähernd gleich 1, mit 100 und 200 r war bei 45 r/Min. eine grössere Schädigung festzustellen als bei 2 r/Min., der Zeitfaktor also kleiner als 1.

Im allgemeinen ergaben sich einwandfreie Wirkungen der Strahlen bis zum vierten und fünften Tage, normale Verhältnisse des Wachtums vom siebenten Tage an. Die Seitenwurzeln im besonderen erfuhren mit 5 r eine Förderung, mit 20 r eine Schädigung, mit 100 und 200 r einen vollständigen Ausfall.

V. de Simoni benützte als Testobjekt in seinen Untersuchungen Triticum vulgare und Secale cereale aus der species der Gramineen. Hier wurde im Gegensatz zu den Versuchen mit Bohnen das Wachstum des Sprosses untersucht.

Die beiden Gramineenarten haben sich als günstige Versuchsobjekte erwiesen. Roggen zeigte sich weniger resistent gegenüber Röntgenstrahlen als Weizen.

De Simoni führte seine Versuche mit weichen (65 K. V. ohne Filter) und harten (190 K. V. 0,5 Cu) Strahlen durch. Es ergab sich folgendes:

Weiche Strahlen vermögen keine dauernde Wirkung auf den Keimling zu erzielen. Bei Weizen bewirken 2, 5, 100 und 200 r anfänglich eindeutige Schädigung, 10, 20 und 50 r anfänglich eindeutige Förderung. Harte Strahlen erzeugen bis zum fünften Tage eine deutliche Wachstumshemmung. Dann tritt normales Wachstum ein. 100 r vermögen als einzige Dosis eine Dauerschädigung zu erzeugen.

De Simoni konnte in seinen Experimenten die von Iven angegebene Latenzzeit nicht feststellen.

Als wichtigstes Resultat fand er, dass die maximale Strahlenwirkung mit der grössten Wachstumsgeschwindigkeit des Sprosses zusammenfällt.

Die Wirkung von Ultraviolettstrahlen auf Pflanzenzellen ist unter anderen auch von Bakkes und Herren untersucht worden. Es ergab sich eindeutig, dass kleine U. V.-Strahlenmengen sich als Reize, grössere als Schädigung auswirken.

Für uns stellt sich im folgenden die Aufgabe, die Wirkung von Röntgen- und Ultraviolettstrahlen auf ein und dasselbe biologische Objekt zu prüfen.

Als Versuchspflanze wählen wir Triticum vulgare, ein Objekt, das nach den Versuchen von De Simoni eine genügende Empfindlichkeit aufweist.

Unsere Experimente bezwecken im allgemeinen die Lösung zweier grundlegender Probleme:

1. Wie wirkt sich die Summation gleicher Dosen Röntgen- und gleicher Dosen Ultraviolettstrahlen auf das Versuchsobjekt aus?
2. Ist die Summation vollständig und hat eine Aenderung der Reihenfolge, der auf ein und dasselbe Objekt abgegebenen Strahlenarten in Bezug auf die Wirkung einen Einfluss?

Es handelt sich somit bei unserer Aufgabe um eine Kombination früherer Einzelversuche mit Röntgen- oder Ultraviolettstrahlen auf das g l e i c h e Testobjekt. Um eine Vergleichsmöglichkeit mit jenen Ergebnissen zu schaffen, arbeiten wir mit gleichen Dosen und unter möglichst gleichen Verhältnissen.

Die Röntgenstrahlen werden bei konstanter Intensität von 10 r/Min. in folgenden Dosen appliziert:

5 r	Dauer	30 "
10 r	„	1 '
20 r	„	2 '
50 r	„	5 '
100 r	„	10 '

U. V.-Strahlen werden bei konstanter Brennstärke und vollem Spektrum in folgenden Zeitlängen appliziert:

5 ", 10 ", 20 ", 30 ", 60 ".

Kombiniert werden somit auf ein und denselben Keimling abgegeben:

5 r	+	5 "	U. V.
10 r	+	10 "	
20 r	+	20 "	
50 r	+	30 "	
100 r	+	60 "	

Daraus ergeben sich für uns drei Bestrahlungsmöglichkeiten und infolgedessen drei Versuchsserien:

I. Versuchserie:

U. V.-Bestrahlung anschliessend Röntgenbestrahlung!

II. Versuchsserie:

Röntgenbestrahlung anschliesssend U. V.-Bestrahlung!

III. Versuchsserie:

Röntgen- und U. V.-Bestrahlung gleichzeitig!

II. Methode

Allgemeines:

Bei unseren Versuchen galt vor allem das Prinzip, durch eine möglichst grosse Zahl von zur Anwendung kommenden Keimlingen wie durch eine konstante Arbeitsweise ein möglichst gutes Durchschnittsresultat zu erzielen!

Als Versuchsmaterial benötigen wir folgendes:

1. Trockenen, besten Sommersaatweizen,
2. ca. 20 Petrischalen (10 cm),
3. rundgeschnittenes Filtrierpapier (10 cm),
4. sterilisiertes Sägemehl,
5. 5 Stickrahmen (20 cm) mit Cellophan bespannt,
6. ca. 30 durchsichtige Akkumulatorengläser.

Verfahren:

Jeden Abend nach Beendigung der Messung wurden ca. 100 Weizensamen in eine Petrischale gebracht und vollständig unter Wasser gesetzt. Während 20 Stunden wurden sie in diesem Zustande belassen, um das für die kommende Keimperiode nötige Wasser in sich aufzunehmen. Nach dieser Zeit zeigten sich die Samen beträchtlich aufgequollen und somit keimfähig. Eine Petrischale wurde nachher mit ein bis zwei Blättern gut durchtränktem

Filtrierpapier belegt. Von den aufgequollenen Samen wurden nun ca. 40 besterhaltene und annähernd gleich grosse mit Geduld und Sorgfalt ausgelesen und in radiärer Anordnung, mit der Keimscheibe nach oben, auf das Filtrierpapier gebracht. Für jeden Bestrahlungstag benötigten wir 6 auf diese Weise vorbereitete Petrischalen, und zwar je 5 für die verschiedenen Dosen plus eine für die unbestrahlte Kontrolle. Diese 6 Petrischalen wurden verschlossen und zwei Tage sich selber überlassen. Bei einer konstanten Zimmertemperatur von 19°, diffusem Licht und der nötigen Feuchtigkeit entwickelten sich nun die Keime zu einer für die Bestrahlung nötigen Grösse, die Hauptwurzel, die zuerst gebildet wird, zu einer Länge von ca. 10 mm, Seitenwurzeln ca. 4 mm.

Wir beabsichtigen nun wie gesagt, um einen guten Durchschnittswert zu erhalten, jede der drei Versuchsserien 10 Mal durchzuführen. Ebenso gedenken wir immer je 10 Keimlinge mit ein und derselben Dosis zu beschicken plus je 10 Keimlinge zur Kontrolle unbestrahlt sich entwickeln zu lassen.

Es ergeben sich somit für jeden Dosiswert einer Versuchserie 10 Mal zehn bestrahlte Keimlinge gleich 100 plus 10 Mal zehn unbestrahlte Kontrollen. Total wurden für jede Versuchsserie 600 beste und gleich grosse Keimlinge verwertet.

Die Keimlinge erwiesen sich nach 2 Tagen für die Bestrahlung reif (Vergl. Abb. 1). Wie oben erwähnt, benötigten wir aus jeder Schale je 10, d. h. total 60 Keimlinge. Was bei der früheren Auslese an abnormen Keimlingen sich einschmuggeln konnte, wurde jetzt ausgeschieden. Massgebend war Keimgrösse und Wurzellänge. Durch diese zweite Auslese war unbedingt eine gut ausgeglichene Ausgangsbasis für unsere Versuche gewährleistet.

Abbildung 1

Die gemäss den fünf verschiedenen Dosen zu bestrahlenden 5 Mal zehn Keimlinge wurden nun zur Bestrahlung vorbereitet. In konzentrischer Anordnung mit den Wurzeln nach aussen gerichtet wurden sie auf ein mit Cellophan bespanntes Stickrähmchen gelegt, mittelst einer Pipette jeder Keimling mit einem Wassertropfen beschickt, um ihn während der Bestrahlung vor Austrocknung zu schützen.

In diesem Zustande wurden die Keimlinge immer an den genau gleichen Ort unter die Röntgenröhre, resp. Höhensonne gelegt und mit den nötigen Dosen bestrahlt. Die Bestrahlung erfolgte immer

zur gleichen Zeit, um 14 Uhr, um möglichst gleiche Bedingungen zu schaffen.

Für die Ultraviolettbestrahlung verwandten wir die bekannte Hanauer Jubiläumslampe ohne Filter mit ganzem Spektrum.

Abstand Hg-Bügel — Objekt = 50 cm.

Intensität gemessen mit Thermosäule: 17,1 mA.

Die Höhensonne wurde auf allen Seiten durch Karton abgeschirmt, um jede Streustrahlung zu vermeiden. Unten wurde durch eine kleine quadratförmige Blende eine Bestrahlung des Objektes ermöglicht. Die Bestrahlungszeiten wurden genau nach der Stoppuhr eingehalten. Die Keimlinge wurden immer mit einem Kartondeckel geschützt unter die Lampe gebracht und gemäss den Bestrahlungszeiten auf- und zugedeckt.

In unserer dritten Versuchsserie, in der wir gleichzeitig Röntgen- und U.V.-Strahlen auf das Objekt abgeben mussten, verfuhren wir folgendermassen:

Unsere Keimlinge wurden auf ein 3 mm dickes Sperrholzbrett gelegt. Im Abstand von 50 cm wurde die U.V.-Lampe mit Strahlenwirkung von oben auf das Objekt zentriert. Gleiche Abschirmverhältnisse wie in I. und II. Versuchserie. Die verstellbare Röntgenapparatur wurde für die Wirkung von unten (Fokuskeimdistanz auch wieder 50 cm) ummontiert. Das Dosimeter blieb auf der Objektseite. Somit wurde unter genau gleichen Verhältnissen wie vorhin bestrahlt. Da bei grösseren Dosen die Bestrahlungszeiten für Röntgen meist länger waren als für U.V., wurden die Keimlinge immer nach Stoppuhr mit einem schützenden Kartondeckel auf- und zugedeckt. Der Beginn beider Bestrahlungen erfolgte immer gleichzeitig.

Für die Röntgenbestrahlung benützten wir einen Tiefentherapieapparat: Intensität 10 r / Min.
Feldgrösse 15—20 cm
Fokuskeimdistanz 50 cm
Strahlung 65 KV, 3,5 mA, ohne Filter.

Nach Bestrahlung wurden die Keimlinge bis zur Zeit der Umpflanzung in ein gewöhnliches Wasserbad gelegt (Leitungswasser von 11°).

Als Kulturgefässe für unsere Pflanzen eigneten sich vortrefflich Akkumulatorengläser (15×15×5 cm). Sie sind geräumig und übersichtlich. Als Kulturboden verwendeten wir gewöhnliches, feineres Sägemehl in sterilisiertem Zustand. Der Boden unserer Gläser wurde mit einer ca. 5 cm dicken Sägemehlschicht belegt und nachher auf ca. 3 cm zusammengepresst, um eine möglichst stabile Basis zu erhalten. Nun folgte eine reichliche Durchfeuchtung mit Leitungswasser.

Die 10 Keimlinge wurden in regelmässigen Abständen auf einer Breitseite des Gefässes angelegt. Um der Wurzel eine Wachstumsrichtung zu geben und ihre Durchstossarbeit nach unten zu verringern, wurden mit einem Glasstab vorher 10 Kanäle durchgestossen. Nun galt es, die Keimlinge unter äusserster Vorsicht mit einer langen Pincette an ihren Ort zu bringen, d. h. mit den Wurzeln nach unten und nach der Glasseite gerichtet, genau an den Kanaleingang. Der obere aufragende Teil wurde mit einigen Sägemehlspänen ohne Druck zugedeckt. Damit war der Keimling in seiner Lage fixiert und uns die Möglichkeit gegeben, ihn in seinem Wurzel- und Sprosswachstum zu kontrollieren (Vergl. Abb. 2). Die genaue Länge des Sprosses wurde sofort aussen am Glas mit Tusche markiert.

Die 6 in dieser Weise vorbereiteten Gläser einer Versuchsgruppe wurden in einem Laboratorium, das nur diffus belichtet war, aufgestellt und zwar mit den Keimlingen gegen die Fensterseite.

Unsere weitere Aufgabe bestand noch darin, die Grössenzunahme in den kommenden 7 Tagen zu markieren und das Sägemehl in regelmässig feuchtem Zustande zu halten. Die Messung geschah immer zur gleichen Zeit, abends 6 Uhr. Dazu erhielt jedes Glas aus einer Pipette seine nötige Wassermenge.

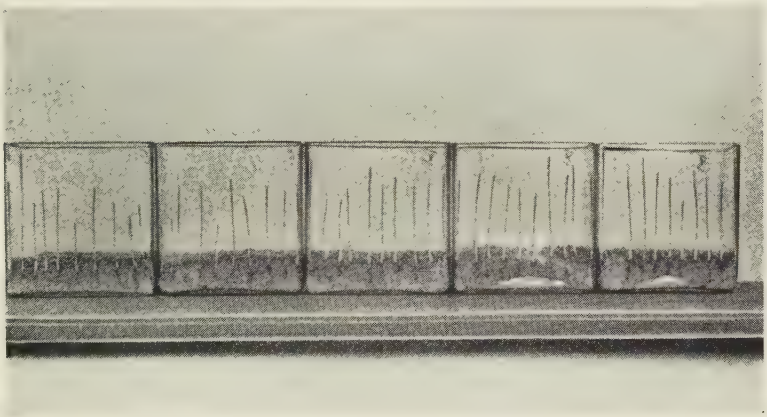


Abbildung 2

Am 7. Tage, abends 6 Uhr, nach jeder Bestrahlung hatte eine Versuchsgruppe ihre Schuldigkeit getan.

Um möglichst Ausgleich zu schaffen, wurde die Reihenfolge beim Messen der verschiedenen Gruppen häufig geändert. Ebenso gestaltete sich die Aufstellung der Gläser immer anders. Die Zimmertemperatur wurde konstant auf 18 bis 19° gehalten.

III. Versuchsübersicht

Testobjekt: Triticum vulgare

I. Serie:

Bestrahlung: U. V. anschliessend Röntgen. (Intensität 10 r/Min.)

10	mal	zehn	Keimlinge:	5"	+	5 r
10	„	„	„ :	10"	+	10 r
10	„	„	„ :	20"	+	20 r
10	„	„	„ :	30"	+	50 r
10	„	„	„ :	60"	+	100 r
10	mal	zehn	unbestrahlte	Kontrollen.		

II. Serie:

Bestrahlung: Röntgen (Intensität 10 r/Min.) anschliessend U. V.

10	mal	zehn	Keimlinge:	5 r	+	5"
10	„	„	„ :	10 r	+	10"
10	„	„	„ :	20 r	+	20"
10	„	„	„ :	50 r	+	30"
10	„	„	„ :	100 r	+	60"
10	mal	zehn	unbestrahlte	Kontrollen.		

III. Serie:

Bestrahlung: U. V., Röntgen (Intensität 10 r/Min.) gleichzeitig.

10	mal	zehn	Keimlinge:	5"	u.	5 r
10	„	„	„ :	10"	u.	10 r
10	„	„	„ :	20"	u.	20 r
10	„	„	„ :	30"	u.	50 r
10	„	„	„ :	60"	u.	100 r
10	mal	zehn	unbestrahlte	Kontrollen.		

IV. Ergebnisse

Allgemeines:

Die nachfolgenden Einzelwerte der drei Serien stellen somit ein Durchschnittsresultat aus 100 Keimlingen dar. Dazu ist auch von Bedeutung: Die sorgfältige Auswahl gleichartiger Objekte, die vollständig ausgeglichenen Lebensbedingungen und die von der gleichen Hand ausgeführte gleichmässige Behandlungsmethode. Alle diese Faktoren müssen uns unbedingt einen einwandfreien Schlusswert garantieren.

Zu eingehender Kritik bringen wir bei unseren Schlusswerten noch die Fehlerrechnung nach Gauss in Anwendung.

Nach Gauss beträgt der mittlere Fehler:

$$F = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \triangle^2}{n(n-1)}}$$

$\triangle$ = Differenz des Einzelwertes zum Durchschnittswert.

n = Zahl der durchgeführten Versuche.

In den nachfolgenden Tabellen Ia, IIa, IIIa sind die für sämtliche Durchschnittswerte jeder Versuchsgruppe mittleren Fehler ersichtlich. Dazu ist auch für die 7 Tage das absolute Wachstum in mm angegeben.

In den Tabellen Ib, IIb und IIIb ist das zur Kontrolle relative Wachstum angegeben. Die Kontrolle ist immer gleich 1 gesetzt.

Die Tabellen Ic, IIc, IIIc bringen die graphische Darstellung des Wachstums für die einzelnen Tage in Relation zur Kontrolle. Kontrolle = 1 (100%).

Tabelle Ia

Absolutes Wachstum in mm und mittlerer Fehler nach Gauss.

	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
K:	4,1 ±0,2	9,1 ±0,2	15 ±0,6	14,1 ±0,2	16 ±0,6	21,1 ±0,7	24 ±0,4
5" + 5 r:	5 ±0,3	11 ±0,4	16,7 ±0,4	14,7 ±0,3	20 ±0,4	21,7 ±0,4	24,2 ±0,3
10" + 10 r:	4,1 ±0,3	10,1 ±0,7	14,8 ±0,6	13,7 ±0,3	18,8 ±0,6	20,9 ±0,5	23,6 ±0,6
20" + 20 r:	4 ±0,2	10 ±0,5	14,4 ±0,6	13,5 ±0,2	18 ±0,7	20,2 ±0,7	23,1 ±0,6
30" + 50 r:	4 ±0,1	9,8 ±0,4	13,7 ±0,3	13,3 ±0,7	17,9 ±0,4	20,2 ±0,4	22,5 ±0,3
60" + 100 r:	3,9 ±0,2	9,3 ±0,5	13,4 ±0,5	13,2 ±0,5	16,7 ±0,7	19,6 ±0,5	22,2 ±0,7

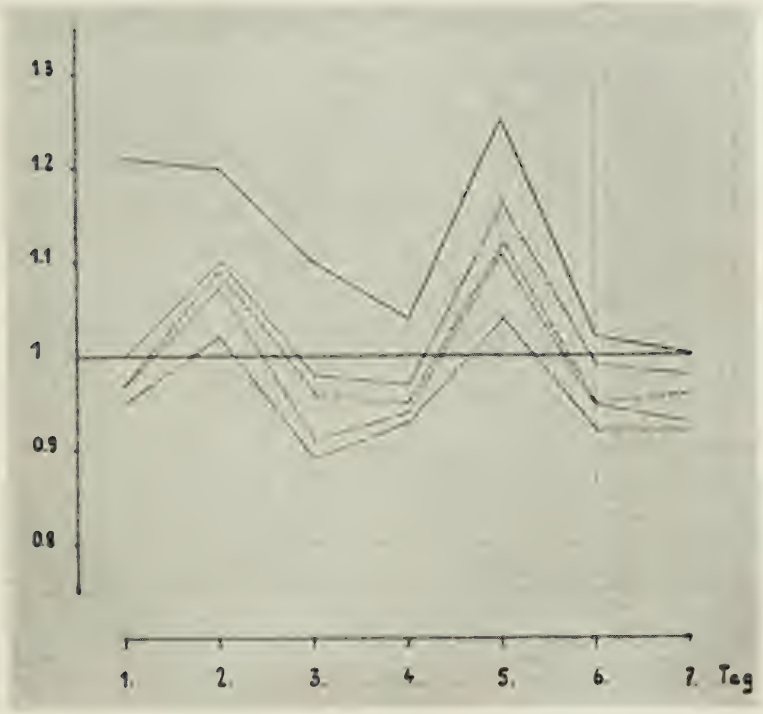
Tabelle Ib

Relatives Wachstum! Kontrolle = 1.

	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
5" + 5 r:	1,21	1,20	1,11	1,04	1,25	1,02	1,00
10" + 10 r:	1,00	1,10	0,98	0,97	1,17	0,99	0,98
20" + 20 r:	0,97	1,09	0,96	0,95	1,12	0,95	0,96
30" + 50 r:	0,97	1,07	0,91	0,94	1,11	0,95	0,93
60" + 100 r:	0,95	1,02	0,89	0,93	1,04	0,92	0,92

Tabelle Ic

U.V. — Rö.



——— 5 " + 5 r
——— 10 " + 10 r
——— 20 " + 20 r
——— 30 " + 50 r
——— 60 " + 100 r

1. Diskussion der Ergebnisse aus der Serie I

Bestrahlungsreihenfolge: U. V.-Röntgen

Bei Betrachtung des Kurvenbildes dieser Serie lässt sich ohne weiteres erkennen, dass die Bestrahlung zum grösseren Teil eine Wachstumsförderung erwirken konnte, und zwar erfolgte die Förderung in zwei Wellen zwischen dem ersten und zweiten und zwischen dem vierten und fünften Tage. Durch grössere Dosen ist eine deutliche Schädigung geringeren Ausmasses zwischen dem zweiten und dritten, fünften und sechsten Tage zu erkennen. Gegen den siebenten Tag zeigt sich das Wachstum ziemlich normal. Was die Dosenwirkung im speziellen anbelangt, bewirkten kleinste Dosen den grössten Reiz und grössere Dosen proportional kleinere Reize, bezogen auf die Wachstumsförderung.

Bereits am ersten Tage vermochte eine Dosis von 5" + 5 r eine Wachstumsbeschleunigung bis zu 21% gegenüber der Kontrolle (Kontrolle = 100%) zu erzielen. Die nächst grössere Dosis 10" + 10 r zeigte keine Reaktion. Dann aber bewirkten bereits 20" + 20 r bis 60" + 100 r eine Schädigung von maximal 5%. Es ist damit und auch in den zwei anderen Versuchsserien ersichtlich, dass die Reaktion ohne L a t e n z z e i t einsetzt, wie schon De Simoni nachweisen konnte.

Bis zum zweiten Tage erfährt 5" + 5 r einen kleinen Abfall von 1%, die übrigen Dosen aber proportional einen regen Anstieg bis zu maximal 10%. Am zweiten Tage liegen alle bestrahlten Pflanzen über der Kontrolle.

Zwischen dem zweiten und vierten Tag erfolgt ein deutliches Absinken der Wachstumstendenz bei allen Dosen, am stärksten

ausgeprägt bei 5" + 5 r. Bis zum fünften Tage erfolgt ein zweiter enormer Anstieg wieder umgekehrt proportional der Dosengrösse. Die Dosen von 5" + 5 r erreichen eine Wachstumszunahme von 25% und 60" + 100 r eine solche von 4%. Ebenfalls am fünften Tage liegen alle bestrahlten Keimlinge über der Kontrolle.

Bis zum sechsten Tage zeigt sich ein starker Abfall und eine Tendenz zu normalem Wachstum, die gegen den siebenten Tag noch ausgeprägter erscheint.

Uebersicht:

1. Es ist vorwiegend eine Wachstumsreizung festzustellen.
2. Die Bestrahlung führte zu einer unmittelbaren Reaktion.
3. Bei den angewandten Dosen zeigt sich keine Dauerwirkung.
4. Zwei eindeutige Reizmaxima zeigen sich am zweiten und fünften Tage.
5. Die Reaktion verläuft proportional der Grösse der Dosis.

Tabelle IIa

Absolutes Wachstum in mm und mittlerer Fehler nach Gauss.

	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
K:	4	9	14,7	14,1	15,9	20,8	24,2
	±0,1	±0,4	±0,4	±0,3	±0,6	±0,5	±0,3
5 r + 5" :	3,5	8,2	12,9	14,1	15,5	19,3	24,2
	±0,1	±0,4	±0,4	±0,2	±0,3	±0,3	±0,2
10 r + 10" :	3,2	7,5	11	12,7	13,7	18	23,5
	±0,2	±0,4	±0,4	±0,4	±0,6	±0,5	±0,4
20 r + 20" :	3,5	7,5	12,2	12,8	14,6	18,1	23,7
	±0,1	±0,4	±0,5	±0,2	±0,7	±0,6	±0,5
50 r + 30" :	3,1	7,2	10,7	12,1	12,5	16,4	22,3
	±0,1	±0,4	±0,6	±0,4	±0,6	±0,7	±0,5
100 r + 60" :	2,8	6	10,2	12	12,2	16,2	22,3
	±0,1	±0,5	±0,7	±0,3	±0,4	±0,6	±0,5

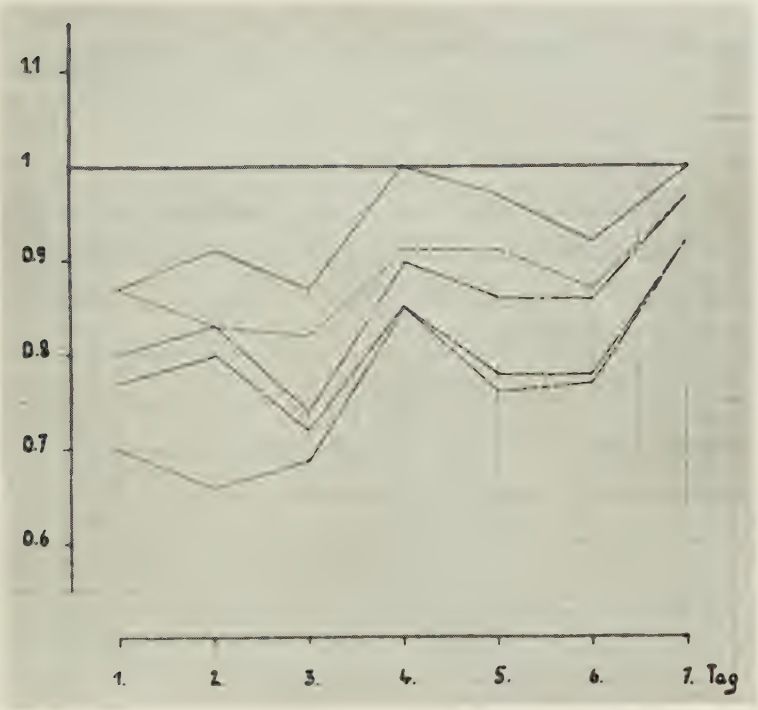
Tabelle IIb

Relatives Wachstum! Kontrolle = 1.

	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
5 r + 5" :	0,87	0,91	0,87	1,00	0,97	0,92	1,00
10 r + 10" :	0,80	0,83	0,74	0,90	0,86	0,86	0,97
20 r + 20" :	0,87	0,83	0,82	0,91	0,91	0,87	0,97
50 r + 30" :	0,77	0,80	0,72	0,85	0,78	0,78	0,92
100 r + 60" :	0,70	0,66	0,69	0,85	0,76	0,77	0,92

Tabelle IIc

Rö. — U.V.



2. Diskussion der Ergebnisse aus der Serie II

Bestrahlungsreihenfolge: Röntgen — U. V.

Das gesamte Kurvenbild zeigt einen eindeutigen Schädigungscharakter und zwar bei der grössten Dosis bis zu 34%.

Eine auffallende Abnahme der Schädigung erfolgt am vierten Tag und ebenso gegen den siebenten Tag mit typischer Tendenz zu normalem Wachstum. Die Schädigung verläuft auch proportional

der Dosengrösse mit Ausnahme von 10 r + 10", das seinen Platz mit 20 r + 20" vertauscht. Eine Reaktion erfolgt schon am ersten Tag.

Die Dosis von 5 r + 5" erreicht am ersten Tage schon einen Ausfall des Wachstums von 13%, stimmt am vierten Tag mit der Kontrolle überein, sinkt bis zum sechsten Tag wieder auf 8% ab und ist am siebenten Tag wieder normal.

Die Dosis von 100 r + 60" steht am ersten Tage auf 70%, sinkt bis zum zweiten Tag noch mehr ab auf 66%, erholt sich dann bis zum vierten Tag und steht auf 85%. Bis zum fünften Tage erfolgt wieder ein Absinken auf 76% und dann ein rapider Aufstieg auf 92% am siebenten Tag.

Die übrigen Dosen liegen mit demselben Bild zwischen beiden beschriebenen Extremen.

Uebersicht:

1. Sämtliche Dosen erzeugen eindeutige Wachstumsschädigung.
2. Die Reaktion erfolgt schon am ersten Tage nach der Bestrahlung.
3. Die Schädigung ist nicht andauernd, sondern die bestrahlten Keimlinge zeigen die Tendenz wieder das Wachstum der Kontrolle zu erreichen.
4. Schädigungsmaxima finden sich am zweiten und dritten, fünften und sechsten Tag.

Tabelle III a

Absolutes Wachstum in mm und mittlerer Fehler nach Gauss.

	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
K:	4	8,8	14,4	14,2	15,6	20,6	23,9
	±0,1	±0,3	±0,7	±0,5	±0,7	±0,7	±0,6
5 r u. 5" :	4,1	8,6	14,1	14,1	15	19,4	23,5
	±0,1	±0,5	±0,3	±0,6	±0,5	±0,6	±0,6
10 r u. 10" :	4,1	8,9	14,6	14,3	15,3	20,3	23,7
	±0,1	±0,3	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
20 r u. 20" :	3,8	8,3	14,2	14,2	15,3	20,1	23,7
	±0,1	±0,3	±0,4	±0,6	±0,6	±0,5	±0,6
50 r u. 30" :	3,4	7,4	13,9	14,1	15	19,3	23,3
	±0,1	±0,4	±0,6	±0,4	±0,7	±0,7	±0,6
100 r u. 60" :	3,4	7	13,1	14,1	14,8	19	23
	±0,1	±0,4	±0,5	±0,3	±0,7	±0,5	±0,5

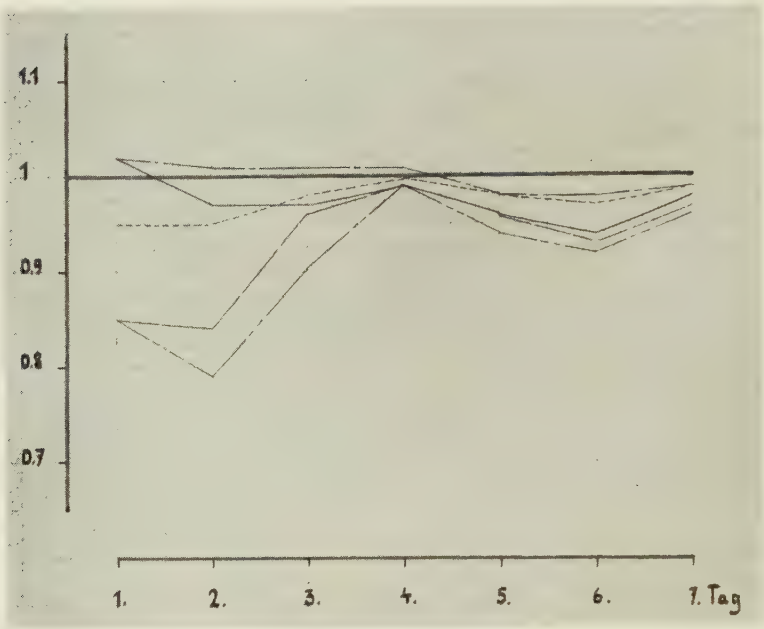
Tabelle III b

Relatives Wachstum! Kontrolle = 1.

	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
5 r u. 5" :	1,02	0,97	0,97	0,99	0,96	0,94	0,98
10 r u. 10" :	1,02	1,01	1,01	1,01	0,98	0,98	0,99
20 r u. 20" :	0,95	0,95	0,98	1,00	0,98	0,97	0,99
50 r u. 30" :	0,85	0,84	0,96	0,99	0,96	0,93	0,97
100 r u. 60" :	0,85	0,79	0,90	0,99	0,94	0,92	0,96

Tabelle IIIc

U.V., Rö.



3. Diskussion der Ergebnisse aus der Serie III

Bestrahlung: Röntgen, U. V., gleichzeitig!

Das Kurvenbild lässt zum grössten Teil eine leichte Schädigung erkennen. Eine schwache Reizung erzielte nur die Dosis von 10 r und 10 ". Maximale Schädigung erreichte die grösste Dosis bis zu 21% am zweiten Tag. Bis zum siebenten Tag zeigen alle bestrahlten Keime die Tendenz zu normalem Wachstum. Das Kurvenbild erweist sich ziemlich proportional der Grösse der Dosis.

Am ersten Tage haben wir überall eine starke Reaktion zu verzeichnen.

5 r u. 5", ebenso, 10 r u. 10" erzeugen am ersten Tag einen Wachstumsanstieg von 1%. Im Verlaufe der sieben Tage halten sich diese zwei Dosen mehr oder weniger auf der Höhe der Norm.

100 r u. 60" steht am ersten Tag schon 15% unter der Kontrolle und sinkt am zweiten Tage noch auf 21 % ab. Nun aber erfolgt ein rapider Anstieg bis auf 1 %, anschliessend bis zum sechsten Tage nochmals ein Absinken auf 8 % und dann Ausgleichstendenz.

Uebrige Dosen liegen mit ähnlichen Bildern zwischen den beschriebenen Grössen.

Uebersicht:

1. Sämtliche Dosen zeigen nur geringe Wirkung.
2. Die Reaktion erfolgt unmittelbar nach der Bestrahlung.
3. Es kann keine Dauerwirkung festgestellt werden. Gegen den Schluss der Beobachtungszeit scheint sich das Wachstum der bestrahlten Keime dem der Kontrolle anzugleichen.
4. Am vierten Tage zeigen die Objekte bei sämtlichen Dosen fast normales Wachstum.
5. Schädigungsmaxima finden sich am zweiten und am sechsten Tage.
6. Die Reaktion verläuft proportional der Grösse der Dosis.

V. Zusammenfassung

der Ergebnisse der Versuchsserien I, II und III

Wenn wir die graphischen Darstellungen unserer drei Serien nebeneinander betrachten, können wir ohne weiteres drei grundverschiedene Bilder konstatieren. Das zwingt uns unwillkürlich zu dem Schluss, dass die Wirkung von der Reihenfolge, in der die zwei Strahlenarten auf das Objekt appliziert wurden, abhängig ist.

Bei der Versuchsserie I: U. V.-Röntgen liegt die Wirkung grösstenteils im + Bereich (Wachstumsreiz) mit zwei deutlichen Maxima am zweiten und fünften Tag.

Bei der Versuchsserie II: Röntgen-U. V. liegt die Wirkung ausschliesslich im — Bereich (Wachstumsschädigung). Auch hier finden sich zwei Anstiege im Wachstum am ersten und vierten Tag.

Bei der Versuchsserie III: Röntgen, U.V. gleichzeitig, liegt die Wirkung annähernd an der Mitte der Bereiche von I und II. Es ist zum kleinern Teil eine Reizung, zum grösseren Teil eine Schädigung zu finden. Auch hier zeigt der Verlauf zwei Phasen, stärkere Schädigung am ersten Tag und Ausgleich fast bis zur Norm vom vierten Tage an.

Daraus ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

1. Das Wachstum von Keimlingen, die zuerst mit Ultraviolettstrahlen (ganzes Spektrum) und anschliessend mit Röntgen-

strahlen behandelt worden sind, verläuft zweiphasig mit zwei starken Reizmaxima am zweiten und fünften Tage und einem Minimum am dritten bis vierten Tag. Die Reizmaxima sind sehr ausgeprägt, die Schädigung nur schwach.

2. Bei vorheriger Röntgen- und anschliessender U.V.-Bestrahlung tritt bei sämtlichen Dosen eine Schädigung ein. Diese zeigt in den ersten drei Tagen eine der Dosis proportionale Grösse. Am vierten Tag zeigen alle Kurven einen deutlichen Anstieg gegen die Norm, um dann wieder abzufallen. Ein zweiter Anstieg findet sich am siebenten Tag.

3. Bei gleichzeitiger Anwendung der beiden Strahlenarten ist die Wirkung absolut genommen gering. Kleine Dosen zeigen während der ganzen Beobachtungszeit kaum eine Wirkung. Grössere Dosen wirken proportional schädigend mit einem Schädigungsmaximum am zweiten Tag. Am vierten Tage wachsen alle Pflanzen praktisch normal schnell. Es folgt weiter ein leichter Abfall gegen den sechsten Tag, der durch einen leichten Anstieg kompensiert wird.

4. Die Strahlenwirkung verläuft zweiphasig. Die erste Phase (starke Reizung im Versuch I; Schädigung im Versuch II) findet sich am zweiten Tag. Die zweite Phase (starke Reizung im Versuch I; Kompensation der Schädigung in den Versuchen II und III) findet sich am vierten und fünften Tag. Diese Phasen stehen wahrscheinlich mit dem absoluten Wachstum (zweiter Tag: Koleoptile; vierter bis fünfter Tag: Blätter) im Zusammenhang. Die schädigende Wirkung ist auf die Blätter, absolut genommen, geringer als auf die Koleoptile.

5. Allgemein scheinen mit U. V. vorbestrahlte Keimlinge gegen die nachfolgende Röntgenbestrahlung weitgehend resistent zu sein. Umgekehrt werden die Keimlinge durch die Vorbestrahlung mit Röntgen stark geschädigt, so dass Ultraviolettstrahlen keine Wachstumsbeschleunigung mehr bewirken können. Bei gleichzeitiger Applikation der beiden Strahlenarten wird deren Wirkung zu einem beträchtlichen Teil gegenseitig aufgehoben.

6. Die Wirkungen sind schon am ersten Tage deutlich zu beobachten. Eine Latenzzeit scheint demnach nicht vorhanden zu sein.

VI. Literaturangabe

Iven H.: Neuere Untersuchungen über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf Pflanzen. Str. th. Bd. 19, 1925.

Glocker R., Hayer F., Jüngling O.: Ueber die biologische Wirkung verschiedener Röntgenstrahlenquantitäten bei Dosierung inr-Einheiten. Str. th. Bd. 32, 1929.

Liechti und Müller: Summationsversuche bei Bakterien. Str. th. Bd. 57, 1936.

Salzmann A.: Ueber den Einfluss von Röntgenstrahlen auf das Wachstum der Pferdebohne (Vicia faba equina). Diss. Bern 1940.

Dölken K.: Strahlenbiologische Versuche mit Vicia faba equina unter spezieller Berücksichtigung des Zeitfaktors. Diss. Bern 1940.

Herren und Bakkes: Untersuchungen über die Wirkung von Ultraviolettstrahlen auf biologische Objekte unter spezieller Berücksichtigung der Intensität. Diss. Bern 1940.

De Simoni V.: Untersuchungen über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Wachstum der Keimlinge von Triticum vulgare und Secale cereale. Diss. Bern 1940.

Inhaltsangabe

Seite

I. Einleitung 1

II. Methode 6

III. Versuchsübersicht 12

IV. Ergebnisse 13

1. Diskussion der Ergebnisse aus Serie I . . 16

2. Diskussion der Ergebnisse aus Serie II . . 19

3. Diskussion der Ergebnisse aus Serie III . . 22

V. Zusammenfassung 24

VI. Literaturangabe 27